日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日
Date of Application: ２００２年１０月１０日

出願番号
Application Number: 特願２００２－２９７３９２

[ST. 10/C]: ［ＪＰ２００２－２９７３９２］

出願人
Applicant(s): 日本板硝子株式会社

２００３年　９月１６日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office 今井康夫

出証番号　出証特２００３－３０７５９４２

【書類名】　特許願
【整理番号】　PY20021367
【提出日】　平成14年10月10日
【あて先】　特許庁長官殿
【国際特許分類】　G02B　6/32
G02B　6/293
【発明者】
【住所又は居所】　大阪府大阪市中央区北浜四丁目７番２８号　日本板硝子株式会社　内
【氏名】　谷山　実
【発明者】
【住所又は居所】　大阪府大阪市中央区北浜四丁目７番２８号　日本板硝子株式会社　内
【氏名】　橋本　崇宏
【発明者】
【住所又は居所】　大阪府大阪市中央区北浜四丁目７番２８号　日本板硝子株式会社　内
【氏名】　福澤　隆
【特許出願人】
【識別番号】　000004008
【氏名又は名称】　日本板硝子　株式会社
【代理人】
【識別番号】　100068755
【弁理士】
【氏名又は名称】　恩田　博宣
【選任した代理人】
【識別番号】　100105957
【弁理士】
【氏名又は名称】　恩田　誠

【手数料の表示】

【予納台帳番号】　002956

【納付金額】　21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】　明細書　1

【物件名】　図面　1

【物件名】　要約書　1

【包括委任状番号】　9908293

【プルーフの要否】　要

【書類名】　明細書

【発明の名称】　屈折率分布型ロッドレンズを用いた光モジュール

【特許請求の範囲】

【請求項１】　少なくとも１本の光ファイバと、その端面から間隔を置いて配置される屈折率分布型ロッドレンズとを備え、前記１本の光ファイバからの出射光を前記ロッドレンズから距離Ｌの位置に配置される光学素子に同ロッドレンズを介して入射させ、前記光学素子で反射される光を前記ロッドレンズを介して前記１本の光ファイバ或いは別の光ファイバに結合する屈折率分布型ロッドレンズを用いた光モジュールにおいて、

前記距離Ｌが所定値より長く、その距離Ｌに対して最適化されたレンズ長が所定のピッチ以下となる場合、前記ロッドレンズとして、両端面が光軸に垂直な屈折率分布型ロッドレンズを用いることを特徴とする屈折率分布型ロッドレンズを用いた光モジュール。

【請求項２】　前記距離Ｌの所定値はほぼ０．４ｍｍであることを特徴とする請求項１に記載の屈折率分布型ロッドレンズを用いた光モジュール。

【請求項３】　前記ロッドレンズの前記最適化されたレンズ長は、０．２１ピッチ～０．１ピッチの範囲内で設定されることを特徴とする請求項１又は２に記載の屈折率分布型ロッドレンズを用いた光モジュール。

【請求項４】　前記ロッドレンズは半径方向に放物線状の屈折率分布を有し、前記ロッドレンズの中心軸上屈折率ｎ０，屈折率分布定数$\sqrt{A}$およびレンズ長Ｚに基づき、$L_0 = 1/(n_0 \times \sqrt{A} \times \tan(\sqrt{A} \times Z))$の式で算出される前記距離Ｌの計算値を$L_0$とすると、同距離Ｌの設計値$L_d$を前記距離Ｌの計算値$L_0$より所定値だけ短めに設定することを特徴とする請求項１～３のいずれか一項に記載の屈折率分布型ロッドレンズを用いた光モジュール。

【請求項５】　前記距離Ｌの設計値L_dを前記距離Ｌの計算値L_0より短めに設定する前記所定値はほぼ０．３ｍｍであることを特徴とする請求項４に記載の屈折率分布型ロッドレンズを用いた光モジュール。

【請求項６】　前記ロッドレンズの入射側には、前記少なくとも１本の光ファイバとして、前記ロッドレンズと同軸に１本の入射側の光ファイバが配置され

、また、該入射側の光ファイバには、第１の端子，第２の端子および第３の端子を有する光サーキュレータが接続されており、第１の端子への光入力は第２の端子から前記入射側の光ファイバへ出力されるとともに、前記光学素子で反射され前記ロッドレンズを介して前記入射側の光ファイバに送られる第２の端子への光入力は第３の端子へのみ出力されるように構成したことを特徴とする請求項１～５のいずれか一項に記載の屈折率分布型ロッドレンズを用いた光モジュール。

【発明の詳細な説明】

【０００１】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光通信分野において、合波機能をもつ光合波器、分波機能をもつ光分波器、これら両方の機能をもつ狭義の光分波合波器や、光分岐結合器などの光分波合波器に使用される屈折率分布型ロッドレンズを用いた光モジュールに関する。

【０００２】

【従来の技術】

従来、このような光モジュールとして、例えば図８に示すようなものが知られている（例えば、特許文献１参照）。この光モジュールは、２本の光ファイバ（単一モード光ファイバ）１１，１２と、屈折率分布型ロッドレンズ１３とを備える。このロッドレンズ１３から所定の距離Ｌだけ離れた位置には、ミラー１４が配置される。ロッドレンズ１３の一端面１３ａは光軸Ｃに対して所定角度（例えば、８°）傾斜した斜め面に研磨されており、その他端面１３ｂは光軸Ｃに垂直な平坦面に研磨されている。２本の光ファイバ１１，１２はキャピラリ１５に保持されており、両光ファイバ１１，１２の各端面およびキャピラリ１５の端面は、ロッドレンズ１３の一端面１３ａと同様に斜め面に研磨されている。

【０００３】

この光モジュールは、入射側（ｉｎ側）の光ファイバ１１からの出射光はロッドレンズ１３により集束されてミラー１４に入射し、該ミラー１４で反射される光はロッドレンズ１３により集束されて出射側（ｏｕｔ側）の光ファイバ１２に結合するようになっている。

【０００４】

このような光モジュールを、光通信分野において上記光分波合波器に用いる場合、通常はレンズ長Ｚが０．２５ピッチ（以下、ピッチを「Ｐ」という。）或いは０．２３Ｐの屈折率分布型ロッドレンズ１３が使用される。この場合、ロッドレンズ１３の他端面１３ｂとミラー１４との間の距離Ｌは、０～０．５ｍｍと短い。

【０００５】

【特許文献１】

特開２００２－１５６５４７号公報。

【０００６】

【発明が解決しようとする課題】

ところで、上記従来の光モジュールで、上記距離Ｌを長くする要求がある場合（例えば、１ｍｍ程度の長さになる場合）には、ロッドレンズ１３として０．２３Ｐよりレンズ長Ｚの短いものが必要になる。しかし、このようなピッチＰが短くて一端面が斜めに研磨されたロッドレンズを使用する場合、挿入損失が増大してしまう。なお、ここにいう「挿入損失」は、挿入損失（ｄＢ）＝－１０ｌｏｇ（入射光量Ｐｏｕｔ／出射光量Ｐｉｎ）で表される。

【０００７】

このように挿入損失が増大するのは、距離Ｌが長くなると、ロッドレンズ１３と各光ファイバ１１，１２との間隔ＷＤも大きくなり、ロッドレンズ１３の斜め面（一端面１３ａ）に起因する非点収差及びコマ収差の影響が大きくなるからである。なお、ロッドレンズ１３の一端面１３ａを斜め面に加工するのは、その一端面１３ａでの反射光が入射側の光ファイバ１１に戻らないようにするためである。つまり、一端面１３ａからの反射戻り光を低減するためである。

【０００８】

本発明は、このような従来の問題点に着目してなされたもので、その目的は、ロッドレンズと光学素子の間の距離が長い場合でも、挿入損失と反射戻り光の低減を図った屈折率分布型ロッドレンズを用いた光モジュールを提供することにある。

【０００９】

【課題を解決するための手段】

上記課題を解決するために、請求項１に係る発明は、少なくとも１本の光ファイバと、その端面から間隔を置いて配置される屈折率分布型ロッドレンズとを備え、前記１本の光ファイバからの出射光を前記ロッドレンズから距離Ｌの位置に配置される光学素子に同ロッドレンズを介して入射させ、前記光学素子で反射される光を前記ロッドレンズを介して前記１本の光ファイバ或いは別の光ファイバに結合する屈折率分布型ロッドレンズを用いた光モジュールにおいて、前記距離Ｌが所定値より長く、その距離Ｌに対して最適化されたレンズ長が所定のピッチ以下となる場合、前記ロッドレンズとして、両端面が光軸に垂直な屈折率分布型ロッドレンズを用いることを要旨とする。

【００１０】

この構成によれば、ロッドレンズと光学素子の間の距離Ｌが長い場合でも、ロッドレンズとして両端面が光軸に垂直な屈折率分布型ロッドレンズを用いることで、斜め面に起因する非点収差やコマ収差が低減されるので、挿入損失が低減される。また、距離Ｌが長くなるために光ファイバとロッドレンズの間隔も大きくなるので、光ファイバの端面と対向するロッドレンズの端面が光軸に垂直であっても、ロッドレンズのその端面で反射されて光ファイバに戻る反射戻り光が低減される。

【００１１】

請求項２に係る発明は、請求項１に記載の屈折率分布型ロッドレンズを用いた光モジュールにおいて、前記距離Ｌの所定値はほぼ０．４ｍｍであることを要旨とする。

【００１２】

この構成によれば、ロッドレンズと光学素子の間の距離Ｌがほぼ０．４ｍｍより長い場合でも、挿入損失と反射戻り光が共に低減される。

請求項３に係る発明は、請求項１又は２に記載の屈折率分布型ロッドレンズを用いた光モジュールにおいて、前記ロッドレンズの前記最適化されたレンズ長は、０．２１ピッチ～０．１ピッチの範囲内で設定されることを要旨とする。

【００１３】

この構成によれば、ロッドレンズは、所定値、例えば０．４ｍｍより長い距離Ｌに対して最適化された０．２１ピッチ～０．１ピッチの範囲内のレンズ長を有する。このため、距離Ｌが所定値より長い場合でも、反射損失が光通信分野において通常必要とされる５５ｄＢよりも十分大きくなり、反射戻り光は問題にならない。すなわち、入射側の光ファイバへの反射戻り光を一定量以下にすることができる。したがって、距離Ｌが所定値より長い場合でも、挿入損失と反射戻り光を低減することができる。これにより、光通信分野で使用可能な高性能な光モジュールを実現することができる。

【００１４】

また、ロッドレンズのレンズ長が短いほど有利であるが、あまり短すぎると光ファイバからの出射光がロッドレンズの有効径外にまで広がり、その結果挿入損失増となってしまう。そのため、ロッドレンズの有効径を６０％程度とした場合に、必要な低挿入損失を確保できる最短のレンズ長Ｚは計算上０．１Ｐ程度である。このため、レンズ長の下限を０．１Ｐとしている。

【００１５】

請求項４に係る発明は、請求項１～３のいずれか一項に記載の屈折率分布型ロッドレンズを用いた光モジュールにおいて、前記ロッドレンズは半径方向に放物線状の屈折率分布を有し、前記ロッドレンズの中心軸上屈折率n_0，屈折率分布定数$\sqrt{A}$およびレンズ長Ｚに基づき、$L_0=1/(n_0\times\sqrt{A}\times\tan(\sqrt{A}\times Z))$の式で算出される前記距離Ｌの計算値を$L_0$とすると、同距離Ｌの設計値$L_d$を前記距離Ｌの計算値$L_0$より所定値だけ短めに設定することを要旨とする。

【００１６】

この構成によれば、本発明者による測定の結果、距離Ｌが上記式で求める距離Ｌの計算値L_0よりも短い位置で挿入損失が最小になる傾向があることが分かったので、距離Ｌの設計値L_dをその計算値L_0よりも所定値だけ短めに設定するようにしている。このため、ロッドレンズと光学素子を、挿入損失が実際に最も小さくなる位置に配置することができる。

【００１７】

請求項５に係る発明は、請求項４に記載の屈折率分布型ロッドレンズを用いた光モジュールにおいて、前記距離Ｌの設計値Ｌｄを前記距離Ｌの計算値Ｌ０より短めに設定する前記所定値はほぼ０．３ｍｍであることを要旨とする。

【００１８】

この構成によれば、距離Ｌの計算値Ｌ０よりも０．３ｍｍ程度短い位置で挿入損失が最小になることが実際の測定結果から分かったので、そのずれ分を見越して距離Ｌの設計値Ｌｄをその計算値Ｌ０よりもほぼ０．３ｍｍだけ短めに設定するようにしている。このため、ロッドレンズと光学素子を、挿入損失が実際に最も小さくなる位置に配置することができる。

【００１９】

請求項６に係る発明は、請求項１～５のいずれか一項に記載の屈折率分布型ロッドレンズを用いた光モジュールにおいて、前記ロッドレンズの入射側には、前記少なくとも１本の光ファイバとして、前記ロッドレンズと同軸に１本の入射側の光ファイバが配置され、また、該入射側の光ファイバには、第１の端子，第２の端子および第３の端子を有する光サーキュレータが接続されており、第１の端子への光入力は第２の端子から前記入射側の光ファイバへ出力されるとともに、前記光学素子で反射され前記ロッドレンズを介して前記入射側の光ファイバに送られる第２の端子への光入力は第３の端子へのみ出力されるように構成したことを要旨とする。

【００２０】

この構成によれば、光サーキュレータの第１の端子への光入力は第２の端子から入射側の光ファイバへ出力され、該光ファイバからの出射光がロッドレンズに入射するとともに、光学素子で反射されロッドレンズを介して入射側の光ファイバに送られる第２の端子への光入力は第３の端子へのみ出射される。こうした構成の光モジュールにおいて、挿入損失と反射戻り光を共に低減することができる。また、ロッドレンズとの間で光の受け渡しをする入射側の光ファイバは１本であるので、この光ファイバとロッドレンズの調芯作業が容易になる。

【００２１】

【発明の実施の形態】

以下、本発明に係る屈折率分布型ロッドレンズを用いた光モジュールの各実施形態を図面に基づいて説明する。

【００２２】

図１に示す第１実施形態の光モジュールを説明する前に、同様の構成を有する光モジュールにおける屈折率分布型ロッドレンズと、光学素子としてのミラーとの距離Ｌについて、図５および図６を参照して説明する。

【００２３】

図５（ａ）に示す光モジュールは、２本の光ファイバ（単一モード光ファイバ）２１，２２と、両端面２３ａ，２３ｂが光軸Ｃに垂直な平坦面(Ｘ＝０°）に研磨された屈折率分布型ロッドレンズ（以下、単に「ロッドレンズ」という。）２３とを備える。ロッドレンズ２３から所定の距離Ｌの位置に光学素子としてのミラー２４が配置される。このミラー２４は、例えば、波長λ１の光を透過する一方、波長λ２（λ１＞λ２）の光を反射する特性を有するダイクロイックミラーである。

【００２４】

入射側（ｉｎ側）の光ファイバ２１からの出射光には、波長λ１の光と波長λ２の光とが含まれている。この出射光はロッドレンズ２３により集束されてミラー２４に入射する。この入射光のうち波長λ２の光はミラー２４で反射された後、ロッドレンズ２３により集束されて出射側（ｏｕｔ側）の光ファイバ２２に結合する一方、その入射光のうち波長λ１の光はミラー２４を透過する。

【００２５】

また、２本の光ファイバ２１，２２は、図示を省略したキャピラリにより互いに平行に保持される。また２本の光ファイバ２１，２２の各端面は、対向するロッドレンズ２３の端面２３ａとの距離が等しくなるように配置される。入射側の光ファイバ２１からの出射光を、ロッドレンズ２３およびミラー２４を介して出射側の光ファイバ２２に入射させる場合、そのキャピラリの中心をロッドレンズ２３の光軸付近に配置し、かつ光ファイバ２１，２２の光軸とロッドレンズ２３の光軸Ｃをほぼ平行になるようにする必要がある。これとともに、光ファイバ２

１，２２の各端面を、対向するロッドレンズ２３の端面２３ａとの距離が等しくなるように配置する必要がある。このため、両光ファイバ２１，２２の中心はロッドレンズ２３の光軸Ｃからそれぞれずれることになる。単一モード光ファイバのクラッド径は１２５μｍであるため、２本の光ファイバ２１，２２を密着させる場合には、両光ファイバ２１，２２の距離（コア間距離）は１２５μｍとなる。そして、キャピラリの中心を光軸Ｃと一致させる場合には、光軸Ｃと各光ファイバ２１，２２の中心Ｃ１，Ｃ２との距離はそれぞれ６２．５μｍとなる（図６（ａ）参照）。また、２本の光ファイバ２１，２２を離した場合には、その離す距離ｘに応じて光軸Ｃと各中心Ｃ１，Ｃ２との距離は大きくなる（図６（ｂ）参照）。

【００２６】

図５（ａ）に示す上記光モジュールでは、入射側の光ファイバ２１からの出射光はロッドレンズ２３に軸外（光軸外）から入射するとともに、同ロッドレンズ２３の軸外から出射する光が出射側の光ファイバ２２に結合するようになっている。そのため、この光モジュールでは、図５（ａ）のようにロッドレンズ２３の焦点位置にミラー２４がある場合には、ロッドレンズ２３からの出射光が光軸Ｃに平行になるのに対し、図５（ｂ）のようにそうでない場合にはその出射光が光軸Ｃに対して傾く。このようにその出射光が光軸Ｃに対して傾いて光ファイバ２２に入射する場合、その傾きが大きくなるほど挿入損失が増える。つまり、ミラー２４がロッドレンズ２３の焦点位置からずれるほど（すなわち、距離Ｌが長くなるほど）挿入損失が大きくなる。このことを図７のグラフで示してある。このグラフは、図８に示す光モジュールにおけるロッドレンズのレンズ長を０．１８Ｐと０．２３Ｐに変えて、各々の場合において前記距離Ｌと挿入損失との関係を測定した結果を示している。図８に示す光モジュールでは、２本の光ファイバ１１，１２とロッドレンズ１３の対向する端面をそれぞれ光軸に対して８°傾斜した斜め面にしてある。図７のグラフで示す測定結果と同様の測定結果が、図５に示す光モジュールのように、両端面が光軸Ｃに垂直なロッドレンズ２３を用いたものでも得られる。

【００２７】

なお、図８の光モジュールにおいて、挿入損失が最小となるような距離Ｌは理論上は下記の１式で計算される計算値Ｌ$_0$であり、０．１８Ｐの光モジュールではＬ$_0$＝０．９１９ｍｍとなり、また、０．２３Ｐの光モジュールではＬ$_0$＝０．２４７ｍｍになる。この計算結果と同様の傾向を図７のグラフは示している。なお、この計算は、ロッドレンズ１３として光通信分野で最もよく使用されているφ１．８ｍｍのロッドレンズを使用し、λ＝１．５５μｍ、ｎ$_0$＝１．５９、√Ａ＝０．３２２として行った。

【００２８】

Ｌ$_0$＝１／（ｎ$_0$×√Ａ×ｔａｎ（√Ａ×Ｚ））　・・・（１式）

ただし、ロッドレンズ１３内の屈折率分布ｎ（ｒ）は、レンズの中心から半径方向の距離をｒとして、ｎ（ｒ）＝ｎ$_0$（１－（Ａ／２）ｒ^2）で表されるものとする。ここで、ｎ$_0$はロッドレンズ１３の中心軸上屈折率、√Ａはその屈折率分布定数である。

【００２９】

したがって、図５（ａ），（ｂ）に示すような光モジュールでは、所望の距離Ｌに対してＬ＝Ｌ$_0$となるような最適ピッチのレンズ長Ｚを有するロッドレンズ２３を用い、その焦点位置付近にミラー２４を配置する必要がある。ただし、この最適ピッチのレンズ長Ｚは、１式から明らかなように使用するロッドレンズのｎ$_0$、√Ａによって変動する。

【００３０】

ここで、一つの問題が生じる。上記光モジュールでは、挿入損失が少ないことが望ましく、一方、クロストーク防止のために、反射戻り光の反射損失（Return Loss：ＲＬ）を可能な限り大きくしなければならない。通常はＲＬ≧５５ｄＢにする必要がある。なお、ここにいう「反射損失」は、反射損失（ｄＢ）＝１０ｌｏｇ（Ｐｉｎ／Ｐ′ｉｎ）で表される。ここで、Ｐｉｎは光ファイバ１１から出射される出射光量、Ｐ′ｉｎは光ファイバ１１に戻る反射戻り光の光量である。

【００３１】

光通信分野では、上記光モジュールの反射損失ＲＬを大きくするために、図８

に示す上記光モジュールのように、光ファイバの端面と、この端面に対向するロッドレンズの端面とをそれぞれ斜めに研磨するのが一般的である。ところで、距離Ｌが長くなると、レンズ長の短いロッドレンズが必要になるが、一端面が光軸に斜めのロッドレンズでレンズ長Ｚが短くなると、上述した理由により挿入損失に悪影響を与える。このことを図２のグラフで示してある。

【００３２】

このグラフでは、前記距離Ｌと挿入損失との関係を、一端面が光軸に斜めのロッドレンズを用いた図８の光モジュールと、両端面が光軸に垂直なロッドレンズを用いた図５の光モジュールとについてそれぞれ測定した結果を示している。また、このグラフでは、これら２つの光モジュールにおいて、ロッドレンズのレンズ長Ｚを０．１８Ｐと０．２１Ｐに変えて、各々の場合において距離Ｌと挿入損失との関係を測定した結果を示している。図２のグラフから明らかなように、レンズ長Ｚが０．１８Ｐの場合と０．２１Ｐの場合共に、図８の光モジュールよりも図５の光モジュールの方が挿入損失が小さくなることが分かった。つまり、レンズ長Ｚが０．２１Ｐ以下の短いロッドレンズを用いる光モジュールでは、両端面が光軸に垂直(Ｘ＝０°）なロッドレンズの方が一端面が光軸に斜め(Ｘ＝８°）のロッドレンズよりも挿入損失が小さくなることが分かった。

【００３３】

一方では、両端面が光軸に垂直なロッドレンズを用いる図５に示すような光モジュールでは、反射損失ＲＬが問題になる。そこで、両端面が光軸に垂直なロッドレンズを使用する光モジュールにおいて、距離Ｌの計算値Ｌ０と反射損失ＲＬの関係をシミュレーションにより求めた。その計算結果を、図３のグラフと下記の表１で示してある。ここでの計算は、両端面が光軸に垂直なロッドレンズとしてφ１．８ｍｍのロッドレンズを使用し、λ＝１．５５μｍ、ｎ０＝１．５９、√Ａ＝０．３２２として行った。ただし、光ファイバ２１，２２の斜め面の傾斜角を８°とした。また、図３において、ＡＲ１は、ロッドレンズの両端面と光ファイバ（ＳＭＦ）の端面にそれぞれ反射防止膜を設けた場合のデータである。ＡＲ２は、ロッドレンズの両端面にのみ反射防止膜を設けた場合のデータである。そして、ＮＣはロッドレンズ、光ファイバともに反射防止膜を設けていない場合

のデータである。

【００３４】

【表１】

< L_0及びWDと反射損失(Return Loss:RL)の関係 >
両端面が光軸に垂直なロッドレンズ(φ１．８mm)の場合の計算値。
λ＝１．５５μm、n_0＝１．５９、√A＝０．３２２とする。
但し、単一モード光ファイバ(SMF)の端面を8°の斜め面とする。

WD (mm)	Z (mm)	ピッチ	L_0 (mm)	RL(dB) AR1＊	RL(dB) AR2＊	RL(dB) NC＊
0.009	4.864	0.249	0.00	34.2	34.2	20.0
0.050	4.799	0.246	0.05	36.4	36.4	22.3
0.099	4.720	0.242	0.10	40.7	40.7	26.6
0.246	4.488	0.230	0.25	48.9	48.9	34.8
0.371	4.293	0.220	0.37	56.1	56.1	42.0
0.386	4.257	0.218	0.40	59.4	59.4	45.3
0.395	4.242	0.217	0.41	98.2	80.8	80.8
0.435	4.182	0.214	0.45	98.2	80.8	80.8
0.499	4.098	0.210	0.50	98.2	80.8	80.8

＊反射防止膜の反射率は０．２%とする。
AR1…ロッドレンズ、SMFともに反射防止膜付き。
AR2…ロッドレンズのみ反射防止膜付き。
NC…ロッドレンズ、SMFともに反射防止膜なし。

図３のグラフと表１から明らかなように、両端面が光軸に垂直なロッドレンズを使用する光モジュールでは、距離Ｌの計算値L_0がほぼ０．４０mmより大きくなると、反射損失ＲＬがほぼ６０ｄＢより急激に大きくなることが分かる。つまり、距離Ｌがほぼ０．４０mmより長くなる場合には、両端面が光軸に垂直なロッドレンズを使用しても、反射損失ＲＬが光通信分野において通常必要される５５ｄＢよりも十分大きくなり、反射戻り光は問題にならないと予測できる。

【００３５】

また、ロッドレンズのレンズ長Ｚが短いほど有利であるが、あまり短すぎると光ファイバからの出射光がロッドレンズの有効径外にまで広がり、その結果、非点収差やコマ収差の影響を受け、挿入損失増となってしまう。そのため、ロッドレンズの有効径を６０%程度とした場合に、必要な低挿入損失を確保できる最短のレンズ長Ｚは計算上０．１Ｐ程度である。したがって、レンズ長Ｚの下限を０．１Ｐ程度とするのが好ましい。

【００３６】

以上説明したことから、上記距離Ｌが所定値より長く（ここではＬ＞０．４ｍｍ）かつその距離Ｌに対して最適化されたレンズ長が０．２３Ｐよりも短い（所定のピッチ以下となる）場合、両端面が光軸に垂直なロッドレンズを用いて光モジュールを構成するのが好ましい。このように構成した光モジュールの第１実施形態を図１に示してある。

【００３７】

この光モジュールは、２つの光ファイバ（単一モード光ファイバ）３１，３２と、屈折率分布型ロッドレンズ３３とを備える。このロッドレンズ３３から所定の距離Ｌだけ離れた位置には、ミラー３４が配置される。ロッドレンズ３３の一端面３３ａ及び他端面３３ｂは、光軸Ｃに垂直な平坦面にそれぞれ研磨されている。２つの光ファイバ３１，３２はキャピラリ３５に保持されており、両光ファイバ３１，３２の各端面およびキャピラリ３５の端面は、斜め面に研磨されている。

【００３８】

この光モジュールは、入射側（ｉｎ側）の光ファイバ３１からの出射光はロッドレンズ３３により集束されてミラー３４に入射し、該ミラー３４で反射される光はロッドレンズ３３により集束されて出射側（ｏｕｔ側）の光ファイバ３２に結合するようになっている。

【００３９】

また、この光モジュールでは、所望の距離Ｌが所定値より長く（ここではＬ＞０．４ｍｍ）かつその距離Ｌに対して最適ピッチのレンズ長Ｚを有するロッドレンズ３３を用い、その焦点位置付近にミラー３４が配置される。そして、その最適ピッチのレンズ長Ｚは、０．２１Ｐ～０．１Ｐの範囲内で設定されるのが好ましい。

【００４０】

さらに、この光モジュールでは、距離Ｌが計算値L_0よりも短い位置で挿入損失が最小になる傾向があることが分かった。つまり、その光モジュールに、レンズ長Ｚが０．２１Ｐで両端面が光軸に垂直なロッドレンズを用いた場合には、計算値L_0＝０．５０１ｍｍの位置ではなく、距離Ｌが０．２～０．４ｍｍの位置

で挿入損失が最小になることが図２に示す実際の測定結果から分かった。同様に、その光モジュールに、レンズ長Ｚが０．１８Ｐで両端面が光軸に垂直なロッドレンズを用いた場合には、計算値$Ｌ_0$＝０．９１９ｍｍの位置ではなく、距離Ｌが０．４～０．９ｍｍの位置で挿入損失が最小になることが図２の測定結果から分かった。したがって、設定したいレンズ－光ファイバ間の距離を$Ｌ_d$とすると、距離の単位をｍｍとして、

$Ｌ_0－０．３ \leqq Ｌ_d \leqq Ｌ_0$　・・・（２式）

程度に設定するのが妥当である。要するに、距離Ｌの計算値$Ｌ_0$よりも０．３ｍｍ程度短い位置で挿入損失が最小になることが実際の測定結果から分かったので、そのずれ分を見越して距離Ｌの設計値$Ｌ_d$を上記１式で求める距離Ｌの計算値$Ｌ_0$よりも短めに設定するようにしている。

【００４１】

さらに、ミラー３４を透過した波長λ１の光をロッドレンズ（図示省略）により集束して光ファイバ（図示省略）に結合させることで、３ポートの光分波合波器が構成される。

【００４２】

以上のように構成された第１実施形態によれば、以下の作用効果を奏する。

（イ）ロッドレンズ３３とミラー３４の間の距離Ｌが長い場合でも、ロッドレンズ３３として両端面が光軸に垂直なロッドレンズを用いることで、斜め面に起因する非点収差やコマ収差が低減されるので、挿入損失が低減される。

【００４３】

（ロ）距離Ｌが長くなるために光ファイバ３１，３２とロッドレンズ３３の間隔ＷＤも大きくなるので、入射側の光ファイバ３１の端面と対向するロッドレンズ３３の一端面３３ａで反射されてその光ファイバ３１に戻る反射戻り光が低減される。つまり、距離Ｌの設計値$Ｌ_d$がほぼ０．４０ｍｍより長くなる場合には、両端面が光軸に垂直なロッドレンズを使用しても、反射損失ＲＬが光通信分野において通常必要される５５ｄＢよりも十分大きくなるので、反射戻り光は問題にならない。

【００４４】

（ハ）所望の距離Ｌが所定値より長い（Ｌ＞０．４ｍｍ）場合に、その距離Ｌに対して最適ピッチのレンズ長Ｚを有するロッドレンズ３３として、両端面が光軸に垂直なロッドレンズを用いる。その最適ピッチのレンズ長Ｚは、０．２１Ｐ～０．１Ｐの範囲内で設定される。

【００４５】

これにより、ロッドレンズ３３とミラー３４との間の距離Ｌが長い場合でも、反射損失ＲＬが光通信分野において通常必要される５５ｄＢよりも十分大きくなるので、反射戻り光は問題にならない。すなわち、入射側の光ファイバ３１への反射戻り光を一定量以下にすることができる。したがって、ロッドレンズと光学素子の間の距離が長い場合でも、挿入損失と反射戻り光を低減することができる。これにより、光通信分野で使用可能な高性能な光モジュールを実現することができる。

【００４６】

（ニ）ロッドレンズ３３の焦点位置付近にミラー３４を配置することで、挿入損失をより少なくすることができる。

（ホ）ロッドレンズ３３として、両端面が光軸に垂直なロッドレンズを用いることで、非点収差やコマ収差を低減することができるとともに、一端面が光軸に斜めのロッドレンズを使用する場合と比べて加工の手間が削減されるため、コストと公差を低減することができる。

【００４７】

（ヘ）距離Ｌの計算値$Ｌ_0$よりも０．３ｍｍ程度短い位置で挿入損失が最小になることが実際の測定結果から分かったので、そのずれ分を見越して距離Ｌの設計値$Ｌ_d$を上記１式で求める距離Ｌの計算値$Ｌ_0$よりも短めに設定する（２式参照）ようにしている。このため、ロッドレンズとミラーを、挿入損失が実際に最も小さくなる位置に配置することができる。

【００４８】

図４は第２実施形態に係る屈折率分布型ロッドレンズを用いた光モジュールを示している。

この光モジュールでは、ロッドレンズ３３の入射側に、ロッドレンズ３３と同

軸に１本の入射側の光ファイバ４３が配置されている。また、入射側の光ファイバ４３には、第１の端子Ｐ１，第２の端子Ｐ２および第３の端子Ｐ３を有する光サーキュレータ４４が接続されている。光サーキュレータ４４の第１の端子Ｐ１には、半導体レーザ或いは発光ダイオードからなる電気－光（Ｅ／Ｏ）変換器（図示省略）からの光が伝搬される光ファイバ４１が接続されている。また、その第２の端子Ｐ２には入射側の光ファイバ４３が接続されている。そして、その第３の端子Ｐ３には、受光ダイオードからなる光－電気（Ｏ／Ｅ）変換器（図示省略）に接続された光ファイバ４２が接続されている。これにより、光ファイバ４１から第１の端子Ｐ１への光入力は第２の端子Ｐ２から入射側の光ファイバ４３へ出力される。また、ロッドレンズ３３から出射されて光ファイバ４３に送られる第２の端子Ｐ２への光入力は第３の端子Ｐ３へのみ出射されるようになっている。

【００４９】

以上のように構成された第２実施形態によれば、上記作用効果（イ）～（ヘ）に加えて、以下の作用効果を奏する。

（ト）光サーキュレータ４４の第１の端子Ｐ１への光入力は第２の端子Ｐ２から入射側の光ファイバ４３へ出力され、該光ファイバ４３からの出射光がロッドレンズ３３に入射する。また、ミラー３４で反射されロッドレンズ３３を介して入射側の光ファイバ４３に送られる第２の端子Ｐ２への光入力は第３の端子Ｐ３へのみ出射される。こうした構成の光モジュールにおいて、挿入損失と反射戻り光を共に低減することができる。

【００５０】

（チ）ロッドレンズ３３との間で光の受け渡しをする入射側の光ファイバ４３は１本であるので、この光ファイバ４３とロッドレンズ３３の調芯作業が容易になる。

【００５１】

（リ）上記第１実施形態では、光ファイバ３１の斜め面からの反射戻り光だけでなく、光ファイバ３２の斜め面からの反射戻り光もある。これに対して、本実施形態では、一つの光ファイバ４３の斜め面からの反射戻り光だけを考慮すれば

よく、その分反射戻り光がさらに低減される。

【００５２】

［変形例］

なお、この発明は以下のように変更して具体化することもできる。

・上記各実施形態では、光学素子としてミラー３４を用いたが、これに代えて誘電体多層膜フィルタを光学素子として用いる場合にも本発明は適用可能である。誘電体多層膜フィルタとしては、長波長域通過形フィルタや短波長域通過形フィルタなどのエッジフィルタや、バンドパスフィルタが使用可能である。

【００５３】

・上記各実施形態では、光モジュールを少なくとも１本の光ファイバと、屈折率分布型ロッドレンズとを備える構成としたが、その他にミラー３４やフィルタなどの光学素子を含む構成の光モジュールに本発明は広く適用可能である。

【００５４】

・上記各実施形態では、ミラー３４を透過した波長λ１の光をロッドレンズ（図示省略）により集束して光ファイバ（図示省略）に結合させることで、３ポートの光分波合波器が構成される。つまり、３ポートの光分波合波器に適用可能な光モジュールについて説明したが、本発明はこのような光モジュールに限定されない。例えば、３ポートの光分岐結合器に適用される光モジュールにも本発明は適用される。この光モジュールは、ミラー３４に代えてハーフミラーを用い、光ファイバ３１に単波長の光を入れ、この光をハーフミラーで分離し、その反射光を光ファイバ３２に結合し、その透過光を図示を省略したロッドレンズを介して光ファイバ（図示省略）に結合させるようになっている。

【００５５】

以下、上記各実施形態から把握できる技術思想について説明する。

（１）上記請求項１～５のいずれか一項に記載の屈折率分布型ロッドレンズを用いた光モジュールにおいて、

前記少なくとも１本の光ファイバとして、前記ロッドレンズにその光軸外から光を入射させる入射側の光ファイバと、前記光学素子で反射されて前記ロッドレンズを通る光が結合される位置に配置される出射側の光ファイバとを備えること

を特徴とする屈折率分布型ロッドレンズを用いた光モジュール。

【００５６】

この構成によれば、入射側の光ファイバからの出射光をロッドレンズに入射させ、光学素子で反射されてロッドレンズから出射される光を出射側の光ファイバに入射させる構成の光モジュールにおいて、挿入損失と反射戻り光を共に低減することができる。

【００５７】

（２）上記請求項２～５のいずれか一項に記載の屈折率分布型ロッドレンズを用いた光モジュールにおいて、

前記１本の光ファイバと、前記光学素子で反射される光が前記ロッドレンズを介して結合される前記別の光ファイバとの２本の光ファイバを用いる場合、これら２本の光ファイバはキャピラリにより互いに平行に保持されており、前記２本の光ファイバの各端面は、対向する前記ロッドレンズの端面との距離が等しくなるように配置されており、また、前記２本の光ファイバの各光軸と前記ロッドレンズの光軸がほぼ平行になるように配置されていることを特徴とする屈折率分布型ロッドレンズを用いた光モジュール。

【００５８】

【発明の効果】

以上説明したように、請求項１に係る発明によれば、ロッドレンズと光学素子の間の距離が長い場合でも、挿入損失と反射戻り光の低減を図ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図１】　第１実施形態の光モジュールを示す概略構成図。

【図２】　距離Ｌと挿入損失の関係を２種類のレンズについて示すグラフ。

【図３】　反射防止膜の条件を異ならせた３種類のデータを示すグラフ。

【図４】　第２実施形態の光モジュールを示す概略構成図。

【図５】　（ａ），（ｂ）は焦点位置にミラーがある場合とない場合をそれぞれ示す説明図。

【図６】　（ａ），（ｂ）は２本の光ファイバを密着した場合と離した場合をそれぞれ示す説明図。

【図７】　一端面が光軸に斜めのロッドレンズについてレンズ長が異なる２種類のデータを示すグラフ。

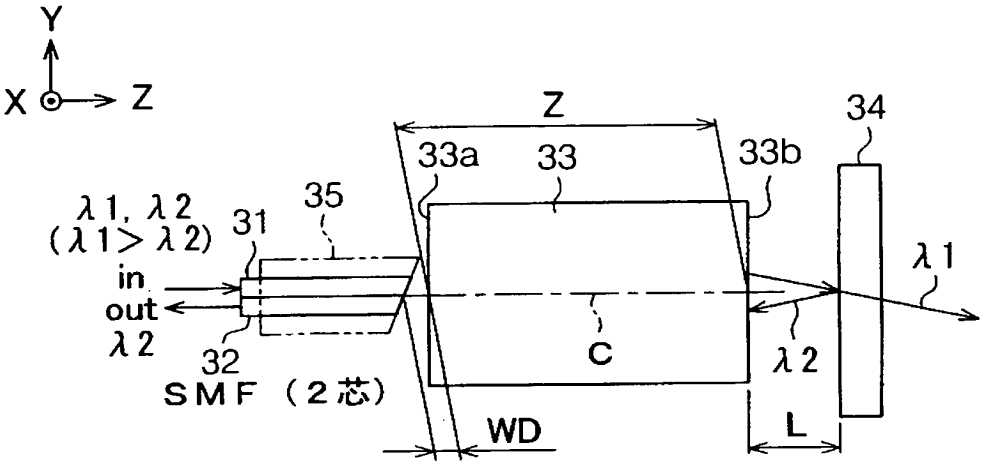
【図８】　従来の光モジュールを示す概略構成図。

【符号の説明】

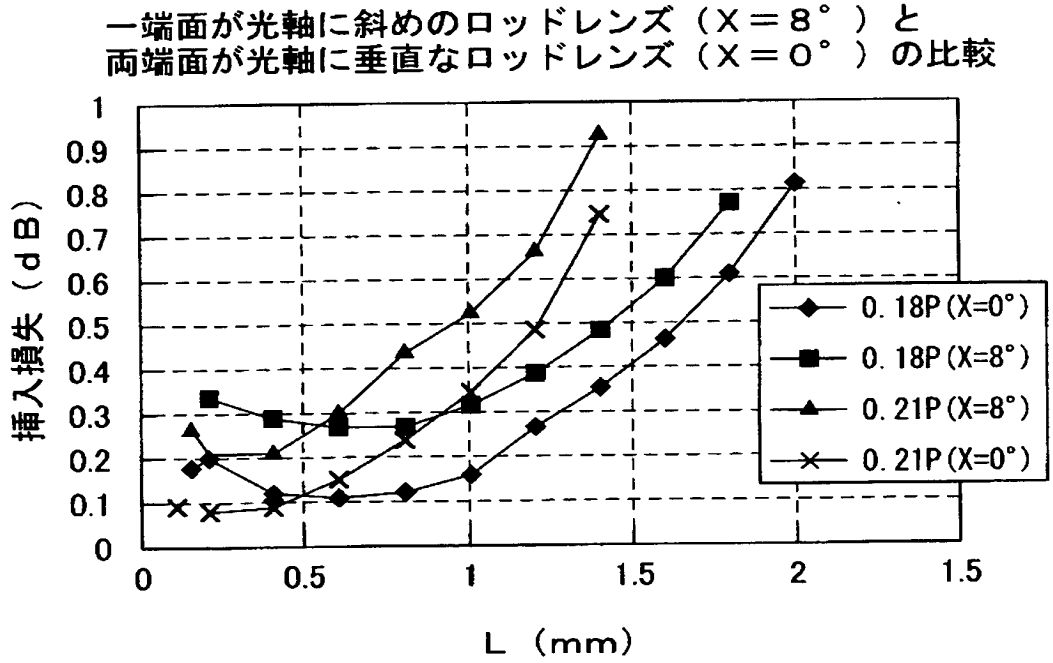
Ｃ…光軸、３１，４３…入射側の光ファイバ、３２，４２…出射側の光ファイバ、３３…屈折率分布型ロッドレンズ、３３ａ…一端面、３３ｂ…他端面、３４…光学素子としてのミラー、４４…光サーキュレータ、Ｐ１…第１の端子、Ｐ２…第２の端子、Ｐ３…第３の端子。

【書類名】　図面

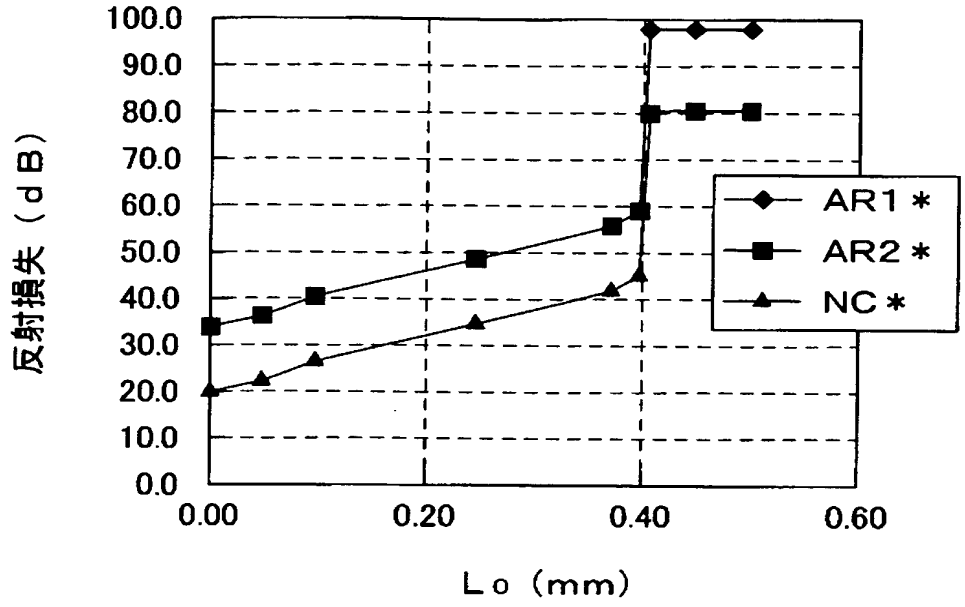
【図１】


Y
X
Z
Z
34
33a
33
33b
35
λ1, λ2
(λ1＞λ2)
31
in
out
λ2
32
SMF（２芯）
C
λ1
λ2
WD
L

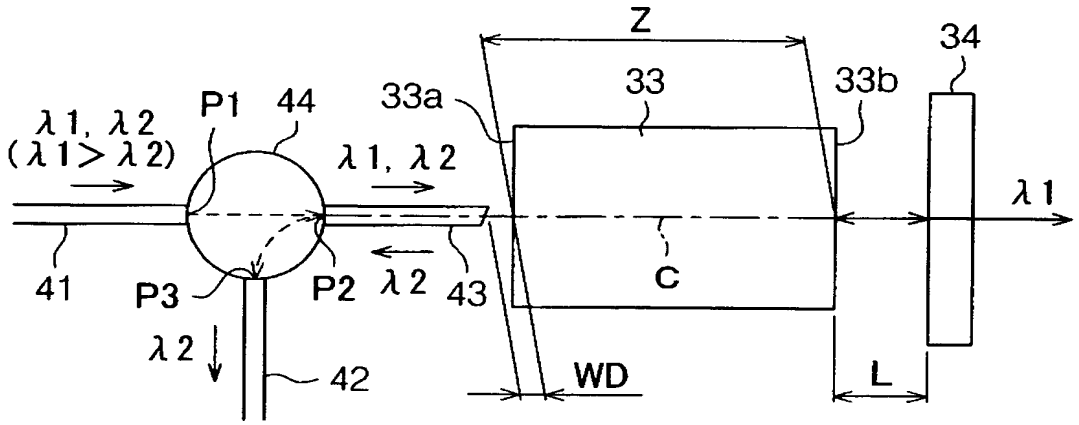
【図２】


一端面が光軸に斜めのロッドレンズ（X＝8°）と
両端面が光軸に垂直なロッドレンズ（X＝0°）の比較
挿入損失（dB）
1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0
0.5
1
1.5
2
1.5
L（mm）
0.18P(X=0°)
0.18P(X=8°)
0.21P(X=8°)
0.21P(X=0°)

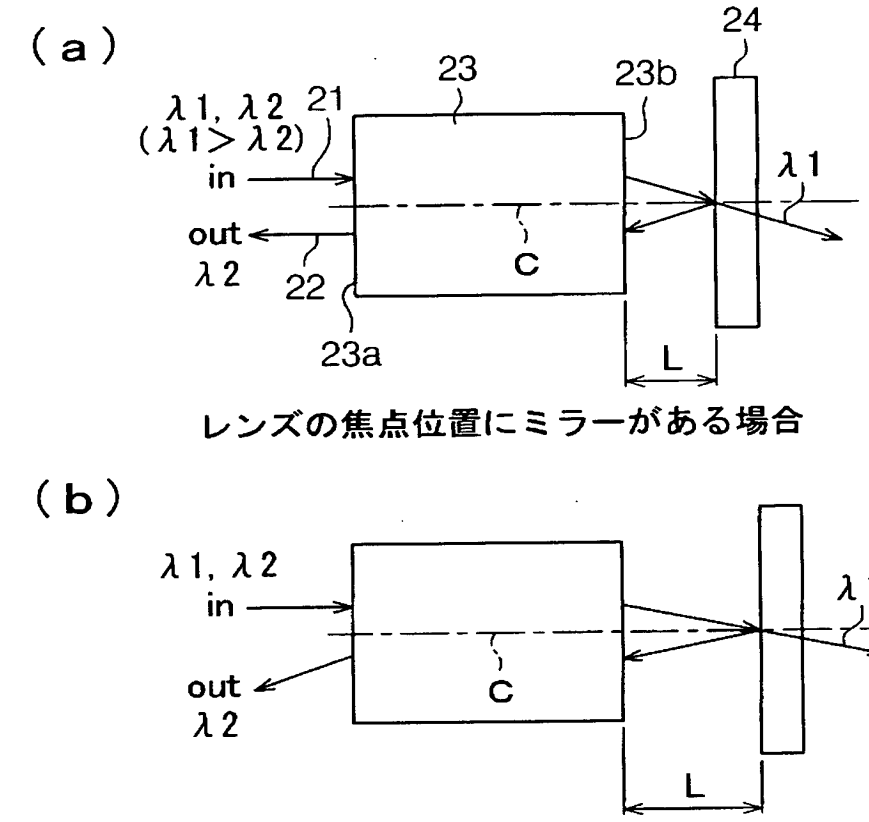
【図３】


100.0
90.0
80.0
70.0
60.0
50.0
40.0
30.0
20.0
10.0
0.0
反射損失（ｄＢ）
0.00
0.20
0.40
0.60
Ｌｏ（mm）
AR1＊
AR2＊
NC＊

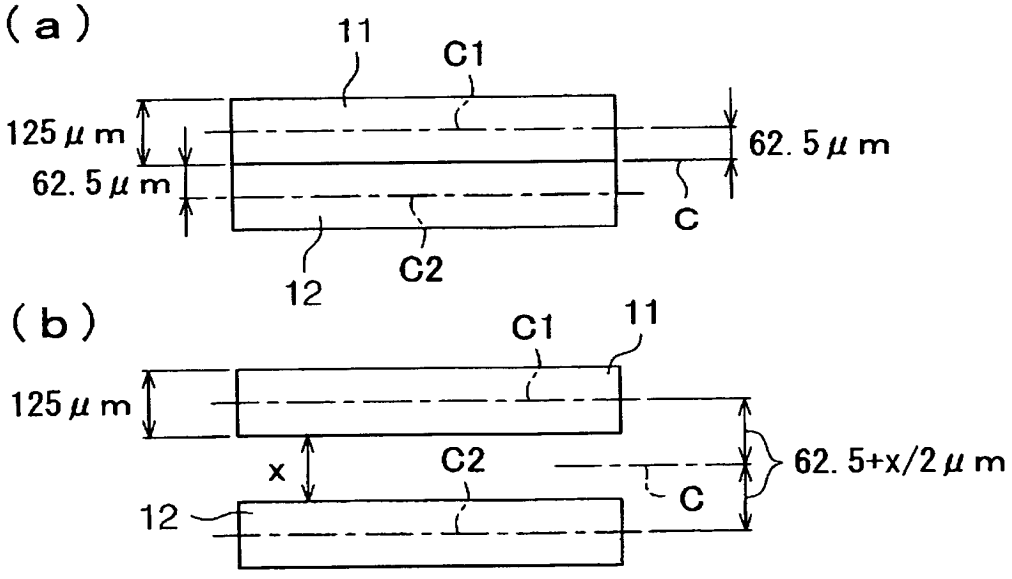
【図４】


Z
34
33
33a
33b
λ1, λ2
(λ1＞λ2)
P1
44
λ1, λ2
λ1
41
P3
P2
λ2
43
C
λ2
42
WD
L

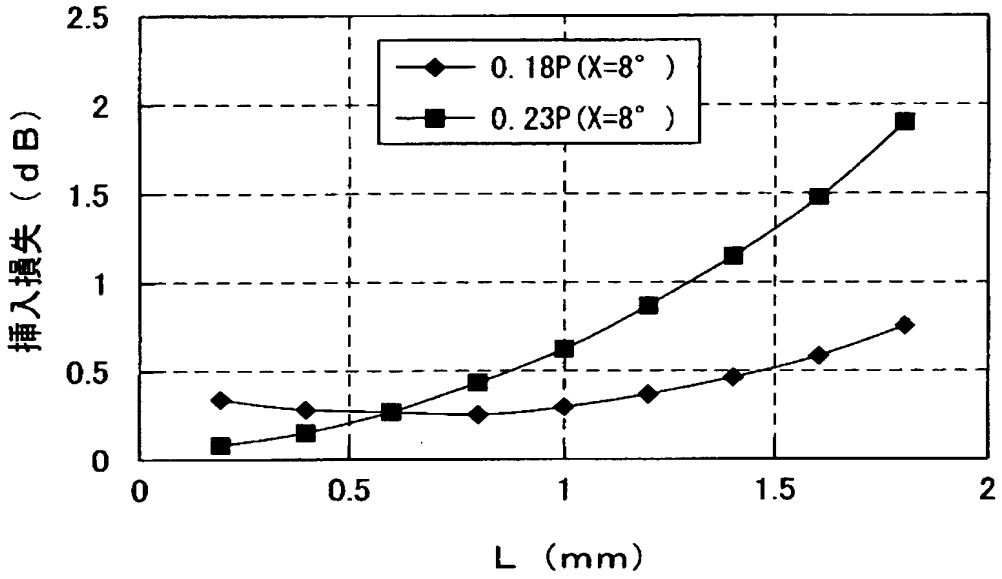
【図５】


（ａ）
λ1, λ2
(λ1＞λ2)
21
23
23b
24
in
out
λ2
22
23a
C
λ1
L
レンズの焦点位置にミラーがある場合
（ｂ）
λ1, λ2
in
out
λ2
C
λ1
L
レンズの焦点位置にミラーがない場合

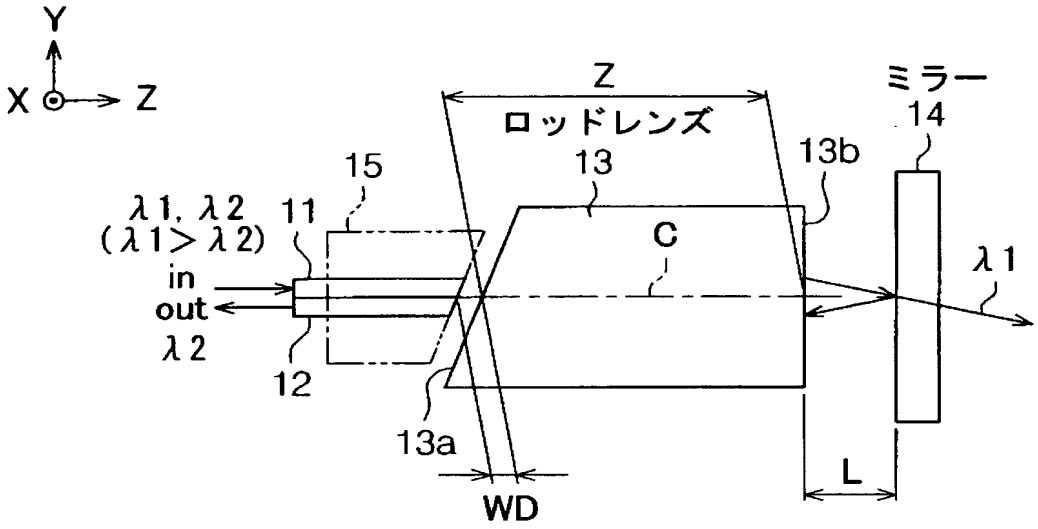
【図６】


（ａ）
11
C1
125μm
62.5μm
62.5μm
C
12
C2
（ｂ）
C1
11
125μm
x
C2
62.5+x/2μm
C
12

【図７】


2.5
2
1.5
1
0.5
0
0
0.5
1
1.5
2
挿入損失（ｄＢ）
Ｌ（mm）
0.18P(X=8°)
0.23P(X=8°)

【図８】


Y
X
Z
Z
ロッドレンズ
ミラー
14
13
13b
15
λ1, λ2
(λ1＞λ2)
11
C
in
out
λ2
λ1
12
13a
WD
L

【書類名】　要約書

【要約】

【課題】　ロッドレンズと光学素子の間の距離が長い場合でも、挿入損失と反射戻り光の低減を図った屈折率分布型ロッドレンズを用いた光モジュールを提供すること。

【解決手段】　ロッドレンズ３３，ミラー３４間の距離Ｌが０．４ｍｍより長い場合に、Ｌに対して最適ピッチのレンズ長Ｚを有するロッドレンズ３３として、両端面が光軸Ｃに垂直なロッドレンズを用いる。レンズ長Ｚは、０．２１Ｐ～０．１Ｐの範囲内で設定される。Ｌが０．４ｍｍより長い場合でも、両端面が光軸Ｃに垂直なロッドレンズを用いることで、斜め面に起因する非点収差やコマ収差が低減されるので、挿入損失が低減される。Ｌが長くなるために光ファイバ３１，３２とロッドレンズ３３の間隔ＷＤも大きくなるので、両端面が光軸に垂直なロッドレンズを使用しても、反射戻り光は問題にならない。

【選択図】　図１

特願２００２－２９７３９２

出　願　人　履　歴　情　報

識別番号　　［０００００４００８］

１．変更年月日　　２０００年１２月１４日
［変更理由］　　住所変更
住　所　　大阪府大阪市中央区北浜四丁目７番２８号
氏　名　　日本板硝子株式会社